

掘さく空洞周辺の岩盤強度に関する基礎的研究

| | |
|-----|---|
| 著者 | 李 正 仁 |
| 号 | 453 |
| 発行年 | 1973 |
| URL | http://hdl.handle.net/10097/9189 |

| | |
|-------------|--|
| 氏 名（本籍） | 李 ^リ 正 ^{チョン} 仁 ^{イン} （韓国） |
| 学 位 の 種 類 | 工 学 博 士 |
| 学 位 記 番 号 | 工 博 第 4 5 3 号 |
| 学位授与年月日 | 昭和 4 9 年 3 月 2 6 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 5 条第 1 項該当 |
| 研究科専門課程 | 東北大学大学院工学研究科 （博士課程）資源工学専攻 |
| 学 位 論 文 題 目 | 掘さく空洞周辺の岩盤強度に関する基礎的研究 |
| | （主査） |
| 論文審査委員 | 教授 堀部 富男 教授 石浜 涉 教授 川島 俊夫 教授 小林 良二 |

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

地下岩盤の力学的挙動を知り，また地下岩盤構造の設計強度を求めることは地下資源開発，トンネル等における掘さく，地下空洞維持等の問題に関連して極めて重要である。

このため現場より採取せる岩石試験片による強度試験に関する研究が従来より数多く行なわれている。しかしながら岩石は鋼材とは異なり，弾性範囲，降伏点を定め難い材料であり，その変形挙動は複雑であるので，地下岩盤構造の設計強度として，いかなる値をとるべきかは，従来より論議のあるところである。

本研究は地下における岩盤構造の設計資料を得る目的で行なわれる岩石強度試験に関するもの

で、主として岩石試験片の破壊開始応力について論じたものである。すなわち長期にわたって維持すべき岩盤構造にあっては、その設計強度の見積りは岩石試験片の破壊開始応力におくべきであるとの考え方に基づいて、各種岩石試験片について3軸圧縮試験を行ない、試験片に加わる封圧、軸圧、試験片の縦ひずみ、横ひずみ、試験片内を伝播する超音波速度を同時計測し、主応力差と試験片の縦、横ひずみ、体積ひずみ、ポアソン数、音速等との関係を詳細に検討し、従来の研究では明確に定め得なかった岩石の破壊開始応力を求めたものである。

第2章 岩石試料，実験装置ならびに実験方法

本研究に用いた岩石試料としては東北大理石、江持安山岩、来待砂岩、荻野凝灰岩、伊豆青石の5種類とし、試験片は $30\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 60\text{ mm}$ の角柱とした。3軸圧縮試験機は最大封圧 400 Kg/cm^2 、軸荷重 30 t 、加圧釜容量 24 l の大型の油圧式3軸圧縮試験機で加圧釜内に超音波伝播速度（音速）測定用の探触子、試験片、球座などが収容できるものである。音速はジルコチタン酸鉛磁器を用いたランジュバン型探触子を設計、製作し、超音波伝播速度測定機ウルトラソニスコープを用いて測定した。探触子の設計にあたっては探触子内に油の漏入がないこと、3軸圧縮下の荷重に充分耐え、しかも振動子の自由振動が拘束されない構造であること、試験片と探触子の密着がよいことなどを考慮した。

また共振周波数は 80 KHz のものを製作した。試験片のひずみの測定は試験片の相対する2面にクロスワイヤストレンゲージを貼り付け、ダイナミックストレンメータを通して、X-Yレコーダに記録された。また荷重は円筒形の鋼製受圧器を製作し、この受圧器により自動平衡式記録計に記録させた。

実験にあたってはビニルフィルムで被覆した岩石試験片と音速測定用探触子を加圧釜に設置し、封圧、軸圧を加えて、軸荷重の増加に伴う音速はウルトラソニスコープのブラウン管面上の超音波パルスの移動を連続的に写真撮影し、その時点でのひずみ、応力をよみとることにより、音速、縦ひずみ、横ひずみ、軸応力の同時計測を行なった。なお本研究における封圧は $0, 60, 120, 240\text{ Kg/cm}^2$ と4段階とした。

第3章 3軸圧縮下における岩石の変形挙動

第2章で述べた実験により東北大理石、江持安山岩、来待砂岩、荻野凝灰岩、伊豆青石の5種類の岩石試料について、主応力差－縦、横ひずみ線図、封圧－体積ひずみ線図、主応力差－体積ひずみ線図、主応力差－ポアソン数線図を描き、これら曲線上にあらわれる各種岩石試料の変形挙動について検討を行なった。

主応力差－縦、横ひずみ線図から、各岩石試料とも封圧が増すにつれ、破壊強度とそれにいた

る縦、横ひずみが増加することが認められる。また、封圧が高まるにつれ主応力差が破壊強度に近づくとひずみの増加率が大きくなり、この傾向は横ひずみに顕著にあらわれる。しかし主応力差一縦、横ひずみから破壊開始応力点をよみとることは難しい。

封圧と体積ひずみとの関係は、東北大理石についてはその曲線が指数函数的な形であるが、他の岩石、すなわち江持安山岩、来待砂岩、荻野凝灰岩、伊豆青石については封圧が増せば体積ひずみもほぼ直線的に増すようである。

また3軸圧縮下の各岩石試料の主応力差と体積ひずみとの関係は、主応力差の小さいところでは体積ひずみは主に空隙縮小に支配され、はじめの体積ひずみの増加率が大きいようであるが、後一定の増加率となり、破壊開始と思われる応力点附近からその増加率は減少し、体積ひずみの最大値を示す主応力差から不安定な破壊亀裂が伝播しはじめ、その後曲線は反転して試験片が体積膨脹をして破壊強度点にいたる傾向をよくあらわしている。この主応力差一体積ひずみ曲線より不安定な破壊亀裂が伝播しはじめる主応力差は、体積ひずみの最大値を示す点として明らかにすることができたが、破壊開始応力を明確によみとることは難しい。さらに主応力差一体積ひずみ曲線の形は Bieniawski らによって提唱されているような単純な模式図では説明されず、岩種、封圧によってかなり異なることが明らかになった。

次に各岩石試料の3軸圧縮下の体積弾性係数は、東北大理石、江持安山岩については封圧が増せば体積弾性係数も増すが、来待砂岩、荻野凝灰岩、伊豆青石についての体積弾性係数は、本研究の封圧範囲では影響をほとんどうけないようである。

また主応力差一ポアソン数線図について検討してみると、各種岩石試料とも主応力差の増加に伴いポアソン数が減じ、前記主応力差一体積ひずみ曲線上、体積ひずみの最大値を示す不安定な破壊亀裂が伝播しはじめる主応力差附近でポアソン数の減少率は大きくなり、ポアソン数が2に近づいて破壊強度にいたること、封圧が増加するにしたがってポアソン数の減少率は低下することが明らかとなった。

第4章 3軸圧縮下における岩石の音速変化

3軸圧縮下にある岩石試験片の音速を測定し、その結果より、封圧一音速線図、主応力差一音速線図、体積ひずみ一音速線図等を描き、これら曲線から3軸圧縮下の岩石の音速特性を調べた。

封圧と音速との関係は、各岩石試料とも封圧が増せば音速も大となり、その曲線の形は東北大理石のごとく、低封圧下においては音速の増加率が大きい、封圧が高まるにつれ増加率が減少するもの、来待砂岩、荻野凝灰岩のごとく封圧の増加に伴いほぼ直線的に音速が大となるもの、江持安山岩、伊豆青石のごとく低封圧下においては音速変化は少ないが、ある封圧に達すると音速が増しはじめ、以後指数函数的に増加するものの3つに分類されるようである。また封圧の増加に伴

う体積ひずみと音速との関係についても、体積ひずみが増加すると音速も大となり、その傾向は先に述べた封圧と音速との関係と同様、3つの形に分類される。これら曲線の形の違いは各種岩石試料の鉱物組成等の違いによるものと思われる。

次に主応力差と音速との関係についてみると、各岩石試料の主応力差－音速曲線の形は、ある応力範囲までは主応力差とともに音速は増すが、破壊強度点近くではこの傾向が逆転し、主応力差が増すと音速は減少する傾向となる。この傾向をさらに詳しく検討をすると、各岩石試料ともその曲線上に音速が急に变化する変曲点がみられ、主応力差－体積ひずみ曲線上ではみることができなかった破壊開始点をみることができた。この破壊開始点の主応力差が破壊開始応力で、その値は各岩石試料とも破壊強度の50～70%程度である。このように3軸圧縮下において各種岩石試料の破壊開始応力は主応差－音速曲線より求められることが判明した。さらに3軸圧縮下における各種岩石試料の体積ひずみ－音速線図を用いることにより、各種岩石試料の破壊開始点から破断にいたるまでの破壊進行の様子をより明らかにみることができる。

第5章 岩盤強度に関する考察

前章までに得られた各岩石試料の変形挙動、音速特性をもとに、地下岩盤構造設計資料としての岩石の破壊強度について検討し、地下岩盤の現場計測についての考察を行なった。

各岩石試料について、主応力差－音速曲線の変曲点より破壊開始応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_i$ を、主応力差－体積ひずみ曲線における体積ひずみの最大値を示す点より臨界破壊応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{cr}$ を、最大主応力差より破壊強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ を求め、これら各応力の比を比較すると、各岩石試料とも破壊開始応力と破壊強度との比、 $\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_i}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}}$ は、臨界破壊応力と破壊強度との比 $\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_{cr}}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}}$ よりかなり低い値をとることがわかった。主応力差－音速曲線より求めた破壊開始応力をさらに検討するため、来待砂岩、荻野凝灰岩、江持安山岩について繰返し圧縮疲労試験による応力比 (S_r) －繰返し数 (N) 曲線から求めた耐久限度比と $\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_i}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}}$ とを比較すると両者の値はよく一致する。このことから本研究により求めた破壊開始応力は、岩石の変形、破壊挙動を考える上に重要なものであり、また長期にわたって維持すべき地下岩盤構造の設計資料として十分に信頼のおけるものであると考えられる。

次に岩盤構造の設計に用いるMohrの破壊包絡線について、破壊強度円に接する従来の破壊包絡線・破壊開始応力円に接する破壊包絡線とを比較検討し、長期にわたって維持すべき岩盤構造の設計資料としては、破壊開始応力円に接する破壊包絡線を用いるのが合理的であると考えた。さらに本研究で求めた各種岩石試料の主応力差とひずみ、主応力差と音速との関係から、地下岩盤構造の維持、崩壊の監視のための現場計測についての考察を行ない、地圧の増加に対して音速が減少し、岩盤の垂直ひずみよりも水平ひずみの増加率が大きく計測された場合は、岩盤の崩壊が

近いことが予想される等の知見を得た。

第 6 章 結 論

以上要するに、本研究は 3 軸圧縮下における各種岩石試料について、軸圧、封圧、縦ひずみ、横ひずみ、音速の同時計測を行ない、岩石試料の変形挙動、音速特性を総合的に検討し、また地下岩盤構造の設計強度等について考察したもので、特に 3 軸圧縮下における各種岩石試料について、主応力差－音速曲線上より破壊開始応力を求めたことは本研究の重要な知見である。

審 査 結 果 の 要 旨

資源工学においては、岩石の力学的性質に関する研究が広汎に行われているが、岩盤内構造の設計強度に関連ある岩石のいわゆる破壊開始応力は求められていない。しかるに近年圧縮応力と岩石の体積ひずみとの関係から、前記破壊開始応力を見出し得るとの発表がなされて以来、岩盤内構造設計における強度値に関する論議が活発に行われるようになった。

本研究はこれに関連して、1軸圧縮ならびに3軸圧縮下における岩石の変形挙動と超音波パルス法による音速変化とを究明し、求められる破壊強度のほかには破壊開始応力の推測を行い、岩盤強度算定に一指針を与えたもので、全編6章よりなる。

第1章は緒論で、本研究の意義および目的が述べられている。

第2章は、試料ならびに実験装置の記載であるが、油圧容器内での荷重軸方向に使用する音速測定用の探触子の開発と、音速変化の精査に考案を加えたことが述べられており、これが本研究の遂行を容易ならしめている。

第3章は、3軸圧縮下における変形挙動についての研究で、主応力差と体積ひずみとの関係ではBieniawskiの提唱する、いわゆる破壊開始応力は、岩種によっては必ずしも明瞭に見出されないことを指摘している。また多種の岩石の主応力差とポアソン数との関係についても興味ある結果を得ている。

第4章は、3軸圧縮下における岩石の音速に関する研究で、荷重軸方向の音速変化についての解明は、著者によってはじめて行われたもので、その結果、前章に掲げた破壊開始応力は、音速変化においてはいずれの岩種でも明瞭に現われることを見出した。これは重要な知見である。

第5章は、岩盤強度に関する考察で、前記両章の結果に基づき、岩盤内構造設計に際しての強度値に関して提言を行ったもので、これは極めて意義が深い。

第6章は、結論である。

以上要するに、本研究は岩石の変形挙動と音速変化との究明において新知見を加えるとともに、岩盤内構造設計上貴重な示唆を与えたもので、岩石力学ならびに資源工学への寄与は少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。